

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-087987

(43)Date of publication of application : 18.03.2004

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G03F 7/20

(21)Application number : 2002-249711

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 28.08.2002

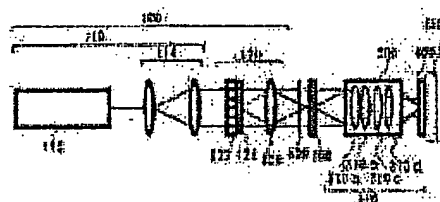
(72)Inventor : HASEGAWA YASUO

(54) ALIGNER AND ITS METHOD, AND DEVICE MANUFACTURING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an aligner and its method which can obtain superior resolution, regardless of the direction of the pattern by restraining deterioration of focusing due to double refraction.

SOLUTION: The aligner has a projection optical system, which uses an optical member showing double refraction and projects a pattern formed in a mask to a workpiece and a polarization direction deciding means for deciding the polarization direction of exposure light so that the exposure light which exposes the workpiece becomes linearly polarized.



(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-87987

(P2004-87987A)

(43) 公開日 平成16年3月18日(2004.3.18)

(51) Int. Cl.⁷

H01L 21/027

G03F 7/20

F1

H01L 21/30

515D

G03F 7/20

521

テーマコード (参考)

5F046

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2002-249711 (P2002-249711)
 (22) 出願日 平成14年8月28日 (2002.8.28)

(71) 出願人 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100110412
 弁理士 藤元 亮輔
 (72) 発明者 長谷川 康生
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内
 Fターム(参考) 5F046 BA03 CB15 CB25 DA12

(54) 【発明の名称】 露光装置及び方法、並びに、デバイス製造方法

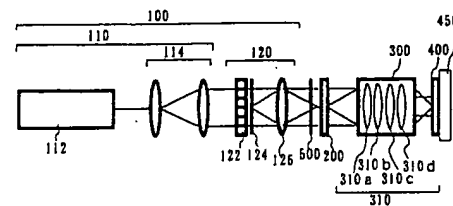
(57) 【要約】

【課題】 複屈折による結像性能の低下を抑え、焼き付け
 パターンの方向によらず優れた解像性能を得ることがで
 きる露光装置及び方法を提供する。

【解決手段】 複屈折を示す光学部材を使用し、マスクに
 形成されたパターンを被処理体に投影する投影光学系と
 、前記被処理体を露光する露光光が直線偏光になるよう
 に、当該露光光の偏光方向を決定する偏光方向決定手段
 とを有することを特徴とする露光装置を提供する。

【選択図】

図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複屈折を示す光学部材を使用し、マスクに形成されたパターンを被処理体に投影する投影光学系と、

前記被処理体を露光する露光光が直線偏光になるように、当該露光光の偏光方向を決定する偏光方向決定手段とを有することを特徴とする露光装置。

【請求項 2】

前記直線偏光の偏光方向を他の偏光方向に切り替える切り替え手段を更に有することを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

【請求項 3】

前記パターンの形成方向を検出する検出部と、

前記検出部が検出した前記パターンの形成方向に対して平行な直線偏光となるように前記切り替え手段を制御する制御部とを更に有することを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

【請求項 4】

前記投影光学系の波面収差を補正する補正手段を更に有することを特徴とする請求項 2 又は 3 記載の露光装置。

【請求項 5】

前記補正手段は、前記波面収差のうち非点収差を測定する測定部と、

前記測定部の測定した前記非点収差に基づいて前記光学部材を駆動する駆動部とを有することを特徴とする請求項 4 記載の露光装置。

【請求項 6】

前記補正手段は、前記露光光と前記被処理体との角度を計測する計測部と、

前記計測部の計測した前記角度に基づいて前記被処理体を駆動する駆動部とを有することを特徴とする請求項 4 記載の露光装置。

【請求項 7】

前記露光光は、波長 200 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

【請求項 8】

マスクに形成されたパターンを被処理体に露光する露光装置であって、

前記被処理体を露光する露光光が前記パターンの形成方向に対して平行な直線偏光となるように、当該露光光の偏光方向を決定する偏光方向決定手段と、

前記パターンの形成方向に対して垂直な方向に有効光源を形成する有効光源形成手段とを有することを特徴とする露光装置。

【請求項 9】

マスクに形成されたパターンを被処理体に露光する露光装置であって、

前記被処理体を露光する露光光が前記パターンの形成方向に対して平行な直線偏光となるように、当該露光光の偏光方向を決定する偏光方向決定手段と、

前記直線偏光の偏光方向と当該直線偏光の偏光方向に対して垂直な方向において、異なる形状の有効光源を形成する有効光源形成手段を有することを特徴とする露光装置。

【請求項 10】

第 1 のパターン及び第 2 のパターンから形成される所望のパターンを、複屈折を示す光学部材を含む投影光学系を介して被処理体に露光する露光方法であって、

前記第 1 のパターンの形成方向に対して平行な直線偏光を用いて当該第 1 のパターンを露光する第 1 の露光ステップと、

前記所望のパターンが形成されるように、前記第 2 のパターンの形成方向に対して平行な直線偏光を用いて当該第 2 のパターンを露光する第 2 の露光ステップとを有することを特徴とする露光方法。

【請求項 11】

前記第 1 及び第 2 の露光ステップの少なくとも一方において、前記投影光学系の波面収差を低減させるように、前記光学部材又は前記被処理体を駆動するステップとを有すること

10

20

30

40

50

を特徴とする請求項 10 記載の露光方法。

【請求項 12】

前記第 1 の露光ステップは、前記第 1 のパターンの形成方向に対して垂直な方向に有効光源を用い、前記第 2 の露光ステップは、前記第 2 のパターンの形成方向に対して垂直な方向に有効光源を用いることを特徴とする請求項 10 記載の露光方法。

【請求項 13】

第 1 のパターン及び第 2 のパターンから形成される所望のパターンを、前記第 1 のパターン及び前記第 2 のパターンの形成方向に対して平行な直線偏光を利用して被処理体に露光する露光方法であって、

前記第 1 のパターンを露光するために、当該第 1 のパターンに対して垂直な方向に有効光源を形成するステップと、

前記第 2 のパターンを露光するために、前記有効光源を当該第 2 のパターンに対して垂直な方向に変更するステップとを有することを特徴とする露光方法。

【請求項 14】

パターンの形成方向に平行な直線偏光を用いて当該パターンを被処理体に露光する露光方法であって、

前記直線偏光の偏光方向と当該直線偏光の偏光方向に対して垂直な方向において、異なる形状の有効光源を形成するステップと、

前記有効光源により前記被処理体を露光するステップとを有することを特徴とする露光方法。

【請求項 15】

請求項 1 乃至 9 のうちいずれか一項記載の露光装置を用いて被処理体を露光するステップと、

露光された前記被処理体に所定のプロセスを行うステップとを有することを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、一般には、露光装置に関し、特に、半導体ウェハ用の単結晶基板、液晶ディスプレイ (LCD) 用のガラス基板などの被処理体を露光するのに使用される露光装置に関する。本発明は、真空紫外域から遠紫外光までの短波長範囲の光を光源に用いる露光装置に好適である。

【0002】

【従来の技術】

近年の電子機器の小型化及び薄型化の要請から電子機器に搭載される半導体素子の微細化への要求は益々高くなっており、かかる要求を満足するために露光解像度を高める提案が様々なされている。

【0003】

露光光源の波長を短くすることは、解像度の向上に有効な一手段であるため、近年では、露光光源は、g 線 (波長約 436 nm)、i 線 (波長約 365 nm)、Kr-F エキシマレーザー光 (波長約 248 nm)、Ar-F エキシマレーザー光 (波長約 193 nm) と進み、今後は、F₂ レーザー光 (波長約 157 nm) の使用が有望視されている。

【0004】

i 線までの波長域では、光学系に従来の光学素子を使用することが可能であったが、Kr-F、Ar-F 各エキシマレーザー光、F₂ レーザー光の波長域では、透過率が低く、従来の光学ガラスを使用することは不可能である。このため、エキシマレーザーを光源とする露光装置の光学系には、短波長光の透過率が高い石英ガラス (SiO₂) 又はフッ化カルシウム (CaF₂) を材料とした光学素子を使用することが一般的となっており、特に、F₂ レーザーを光源とする露光装置においては、フッ化カルシウムを材料とした光学素子を使用することが必須とされている。

【0005】

フッ化カルシウム単結晶は、従来から、「ブリッジマン法」としても知られる）坩堝降下法によって製造されている。かかる方法は、化学合成された高純度原料を坩堝に入れ育成装置内で熔融した後、坩堝を除々に引き下げ、坩堝の下部から結晶化させる。この育成過程の熱履歴によりフッ化カルシウム結晶内には応力が残留する。フッ化カルシウムは応力に対して複屈折性を示し、残留応力があると光学特性が悪化するので、結晶育成後、熱処理を施し応力を除去する。

【0006】

しかし、フッ化カルシウムは、理想的な内部応力がない結晶であっても、結晶構造に起因する複屈折、いわゆる真性複屈折 (intrinsic birefringence) が無視できない量だけ発生する。

【0007】

フッ化カルシウムの結晶軸は、図12に示す通りである。結晶軸としての $[100]$ 軸、 $[010]$ 軸及び $[001]$ 軸は互いに入れ替えて考えることが可能であり、結晶としては立方晶系に属する。そのため真性複屈折の影響を無視すれば、光学的な特性は等方的、即ち、結晶中を光束が進む向きによって光学的な影響が変化することはないことが知られている。

【0008】

フッ化カルシウムの真性複屈折は、図13及び図14によって説明される。まず、図13は、結晶中の光線方向に応じた複屈折の大きさを表す。図13を参照するに、 $[111]$ 軸、 $[100]$ 軸、 $[010]$ 軸及び $[001]$ 軸方向に進行する光束に対しては複屈折量がゼロとなる。しかし、 $[101]$ 軸、 $[110]$ 軸及び $[011]$ 軸方向に進行する光束に対しては複屈折量が最大となり、その大きさが、例えば、 F_2 レーザーの波長 157 nm （以下、「 F_2 波長」と言うこともある。）では 12 nm/cm に達する。図14は、光線方向に応じた複屈折の進相軸分布を表すものである。そのような結晶で光学系を構成した場合、図15に示すように、像の形成に寄与する波面が入射光の偏光方向によって変化し、近似的には2つに分かれた波面が二重の像を形成する。そのため真性複屈折によって、光学系としての結像性能が大きく劣化するという結果になる。ここで、図15は、偏光特性による波面収差と結像特性の関係を示す図である。

【0009】

上述したように、真性複屈折の影響は結晶内部の光束の進行方向によって変化するが、同時に複数の結晶を組み合わせることにより真性複屈折の影響を補正することが可能となる。第1の結晶に対して進相軸方向に偏光して入射した光束に対して、第2の結晶では遅相軸方向に入射するように結晶軸の向きを調整すれば、2つの結晶を透過した後の光束は、波面の進みと遅れがキャンセルされることになる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、真性屈折の大きさは波長の2乗に反比例し、例えば、 $Ar-F$ エキシマレーザーの波長 193 nm では 3.4 nm/cm 、 F_2 波長では 12 nm/cm にも達することが明らかになっており、露光波長が短くなると上述した調整では十分な補正を行うことができず、所望の結像性能を実現することができない。

【0011】

そこで、本発明は、複屈折による結像性能の低下を抑え、焼き付けパターンの方
向によらず優れた解像性能を得ることができる露光装置及び方法を提供することを例示的
目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての露光装置は、複屈折を示す光学部材を使用し、マスクに形成されたパターンを被処理体に投影する投影光学系と、前記被処理体を露光する露光光が直線偏光になるように、当該露光光の偏光方向を決定する偏光方向

10

20

30

40

50

決定手段とを有することを特徴とする。かかる露光装置によれば、偏光方向決定手段により露光光を一つの偏光方向の直線偏光に限定することによって、露光に寄与する波面を一つとし結像性能の劣化を防止することができる。前記直線偏光をの偏光方向を他の偏光方向に切り替える切り替え手段を更に有することを特徴とする。前記パターンの形成方向を検出する検出部と、前記検出部が検出した前記パターンの形成方向に対して平行な直線偏光となるように前記切り替え手段を制御する制御部とを更に有することを特徴とする。これにより、常にパターンの形成方向に対して平行な直線偏光とすることができ、解像度を向上させることが可能となる。前記投影光学系の波面収差を補正する補正手段を更に有することを特徴とする。前記補正手段は、前記波面収差のうち非点収差を測定する測定部と、前記測定部の測定した前記非点収差に基づいて前記光学部材を駆動する駆動部とを有することを特徴とする。前記補正手段は、前記露光光と前記被処理体との角度を計測する計測部と、前記計測部の計測した前記角度に基づいて前記被処理体を駆動する駆動部とを有することを特徴とする。これにより、複屈折に起因する非点収差及び／又は傾き成分を補正することが可能となる。前記露光光は、波長200nm以下であることを特徴とする。

【0013】

本発明の別の側面としての露光装置は、マスクに形成されたパターンを被処理体に露光する露光装置であって、前記被処理体を露光する露光光が前記パターンの形成方向に対して平行な直線偏光となるように、当該露光光の偏光方向を決定する偏光方向決定手段と、前記パターンの形成方向に対して垂直な方向に有効光源を形成する有効光源形成手段とを有することを特徴とする。かかる露光装置によれば、パターンの形成方向に対して垂直な方向に有効光源を形成し、最適な露光条件で露光を行うことができる。

【0014】

本発明の更に別の側面としての露光装置は、マスクに形成されたパターンを被処理体に露光する露光装置であって、前記被処理体を露光する露光光が前記パターンの形成方向に対して平行な直線偏光となるように、当該露光光の偏光方向を決定する偏光方向決定手段と、前記直線偏光の偏光方向と当該直線偏光の偏光方向に対して垂直な方向において、異なる形状の有効光源を形成する有効光源形成手段とを有することを特徴とする。かかる露光装置によれば、直線方向の偏光方向と直線偏光の偏光方向に対して垂直な方向において、異なる形状の有効光源を形成し、最適な露光条件で露光を行うことができる。

【0015】

本発明の更に別の側面としての露光方法は、第1のパターン及び第2のパターンから形成される所望のパターンを、複屈折を示す光学部材を含む投影光学系を介して被処理体に露光する露光方法であって、前記第1のパターンの形成方向に対して平行な直線偏光を用いて当該第1のパターンを露光する第1の露光ステップと、前記所望のパターンが形成されるように、前記第2のパターンの形成方向に対して平行な直線偏光を用いて当該第2のパターンを露光する第2の露光ステップとを有することを特徴とする。かかる露光方法によれば、パターンの形成方向に平行な直線偏光を用いて、パターンの形成方向毎に露光を行うことで解像度に優れた露光を行うことができる。前記第1及び第2の露光ステップの少なくとも一方において、前記投影光学系の波面収差を低減させるように、前記光学部材又は前記被処理体を駆動するステップとを有することを特徴とする。前記第1の露光ステップは、前記第1のパターンの形成方向に対して垂直な方向に有効光源を用い、前記第2の露光ステップは、前記第2のパターンの形成方向に対して垂直な方向に有効光源を用いることを特徴とする。これにより、最適な露光条件で露光を行うことができる。

【0016】

本発明の更に別の側面としての露光方法は、第1のパターン及び第2のパターンから形成される所望のパターンを、前記第1のパターン及び前記第2のパターンの形成方向に対して平行な直線偏光を利用して被処理体に露光する露光方法であって、前記第1のパターンを露光するために、当該第1のパターンに対して垂直な方向に有効光源を形成するステップと、前記第2のパターンを露光するために、前記有効光源を当該第2のパターンに対して垂直な方向に変更するステップとを有することを特徴とする。これにより、常に最適な

10

20

30

40

50

露光条件で露光を行うことができる。

【0017】

本発明の更に別の側面としての露光方法は、パターンの形成方向に平行な直線偏光を用いて当該パターンを被処理体に露光する露光方法であって、前記直線偏光の偏光方向と当該直線偏光の偏光方向に対して垂直な方向において、異なる形状の有効光源を形成するステップと、前記有効光源により前記被処理体を露光するステップとを有することを特徴とする。かかる露光方法によれば、1回の露光でパターンの形成方向によらず、均一な解像度を得ることができる。

【0018】

本発明の更に別の側面としてのデバイス製造方法は、上述の露光装置を用いて被処理体を露光するステップと、露光された前記被処理体に所定のプロセスを行うステップとを有することを特徴とする。上述の露光装置の作用と同様の作用を奏するデバイス製造方法の請求項は、中間及び最終結果物であるデバイス自体にもその効力が及ぶ。また、かかるデバイスは、例えば、LSIやVLSIなどの半導体チップ、CCD、LCD、磁気センサー、薄膜磁気ヘッドなどを含む。

【0019】

本発明の他の目的及び更なる特徴は、以下添付図面を参照して説明される好ましい実施例によって明らかにされるであろう。

【0020】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の例示的な露光装置について説明する。なお、各図において同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。ここで、図1は、本発明の一側面としての露光装置1の例示的一形態を示す概略構成図である。

【0021】

露光装置1は、図1に示されるように、照明装置100と、レチクル又はマスク（本出願ではこれらの用語を交換可能に使用する）200と、投影光学系300と、プレート400と、偏光方向決定手段500とを有する。

【0022】

露光装置1は、例えば、ステップ・アンド・リピート方式やステップ・アンド・スキャン方式でレチクル200に形成された回路パターンをプレート400に露光する投影露光装置である。かかる露光装置は、サブミクロンやクォーターミクロン以下のリソグラフィ工程に好適であり、以下、本実施形態ではステップ・アンド・スキャン方式の露光装置（「スキャナー」とも呼ばれる）を例に説明する。ここで、「ステップ・アンド・スキャン方式」は、レチクルに対してプレートを連続的にスキャン（走査）してマスクパターンをプレートに露光すると共に、1ショットの露光終了後プレートをステップ移動して、次の露光領域に移動する露光方法である。「ステップ・アンド・リピート方式」は、プレートのショットの一括露光ごとにプレートをステップ移動して次の露光領域に移動する露光方法である。

【0023】

照明装置100は、転写用の回路パターンが形成されたレチクル200を照明し、光源部110と、照明光学系120とを有する。

【0024】

光源部110は、光源としてのレーザー112と、ビーム整形系114とを含む。

【0025】

レーザー112は、波長約193nmのAr-Fエキシマレーザー、波長約248nmのKr-Fエキシマレーザー、波長約157nmのF₂レーザーなどを使用することができる。但し、レーザーの種類は限定されず、例えば、YAGレーザーを使用してもよいし、そのレーザーの個数も限定されない。例えば、独立に動作する2個の固体レーザーを使用すれば固体レーザー相互間のコヒーレンスはなく、コヒーレンスに起因するスペックルはかなり低減する。更にスペックルを低減するために光学系を直線的又は回転的に揺動させ

10

20

30

40

50

てもよい。また、光源部 110 に使用可能な光源はレーザー 112 に限定されるものではなく、一又は複数の水銀ランプやキセノンランプなどのランプも使用可能である。

【0026】

ビーム整形系 114 は、例えば、複数のシリンドリカルレンズを備えるビームエクスパンダ等を使用することができ、レーザー 112 からの平行光の断面形状の寸法の縦横比率を所望の値に変換する（例えば、断面形状を長方形から正方形にするなど）ことによりビーム形状を所望のものに形成する。ビーム整形系 114 は、後述するオプティカルインテグレーター 122 を照明するのに必要な大きさと発散角をもつ光束を形成する。

【0027】

また、図 1 には示されていないが、光源部 110 は、コヒーレントなレーザー光束をインコヒーレント化するインコヒーレント化光学系を使用することが好ましい。

【0028】

照明光学系 120 は、レチクル 200 を照明する光学系であり、本実施形態では、オプティカルインテグレーター 122 と、 σ 絞り 124 と、コンデンサーレンズ 126 とを有する。レーザー 112 とオプティカルインテグレーター 122 の入射面とレチクル 200 とプレート 400 とが光学的に共役な関係に維持されている。また、 σ 絞り 124 と投影光学系 300 の瞳面とが光学的に共役な関係に維持されている。

【0029】

オプティカルインテグレーター 122 は、レチクル 200 に照明される照明光を均一化し、本実施形態では、例えば、入射光の角度分布を位置分布に変換して射出するハエの目レンズとして構成される。ハエの目レンズは、その入射面と射出面とが光学的に物体面と瞳面（又は瞳面と像面）の関係になる。ハエの目レンズは、互いの焦点位置がそれと異なる一方の面にあるレンズ（レンズ素子）を複数個並べたものである。また、ハエの目レンズを構成する各レンズ素子の断面形状は、各レンズ素子のレンズ面が球面である場合、照明装置 100 の照明領域と略相似である方が照明光の利用効率が高い。これは、ハエの目レンズと照明領域が瞳と像の関係であるからである。

【0030】

本発明で適用可能なオプティカルインテグレーター 122 は、ハエの目レンズに限定されず、例えば、2 組のシリンドリカルレンズアレイ（又はレンチキュラーレンズ）板を重ねることによって構成してもよい。なお、シリンドリカルレンズアレイ板の組数が 2 に限定されないことはいうまでもない。

【0031】

オプティカルインテグレーター 122 は、光学ロッドに置換される場合もある。光学ロッドは、入射面で不均一であった照度分布を射出面で均一にし、ロッド軸と垂直な断面形状が照明領域とほぼ同一な縦横比を有する矩形断面を有する。なお、光学ロッドは、ロッド軸と垂直な断面形状にパワーがあると射出面での照度が均一にならないので、そのロッド軸に垂直な断面形状は直線のみで形成される多角形である。その他、オプティカルインテグレーター 122 は、拡散作用をもった回折光学素子に置換されてもよい。

【0032】

σ 絞り 124 は、オプティカルインテグレーター 122 の射出面近傍に配置され、形状及び径が固定された開口（例えば、円形の開口）によって被照明面（即ち、レチクル 200 面）の照明範囲を画定する。なお、 σ 絞り 124 は、図示しない絞り駆動手段を構成し、開口の形状及び径を可変としてもよい。

【0033】

コンデンサーレンズ 126 は、オプティカルインテグレーター 124 から射出した光をできるだけ多く集めて主光線が平行、すなわちテレセントリックになるようにレチクル 200 を照明する。

【0034】

レチクル 200 は、例えば、石英製で、その上には転写されるべき回路パターン（又は像）が形成され、図示しないレチクルステージに支持及び駆動される。レチクル 200 から

10

20

30

40

50

発せられた回折光は、投影光学系 300 を通りプレート 400 上に投影される。レチクル 200 とプレート 400 は、光学的に共役の関係にある。本実施形態の露光装置 1 はスキャナーであるため、レチクル 200 とプレート 400 を縮小倍率比の速度比でスキャンすることによりレチクル 200 のパターンをプレート 400 上に転写する。なお、ステップ・アンド・リピート方式の露光装置（「ステッパー」とも呼ばれる）の場合は、レチクル 200 とプレート 400 を静止させた状態で露光が行われる。

【0035】

投影光学系 300 は、レチクル 200（物体面）からの光束をプレート 400（像面）に結像する。投影光学系 300 は、複数の光学素子 310a 乃至 310d（なお、以下の説明において、光学素子 310 は、光学素子 310a 乃至 310d を総括するものとする）
10
で構成される。なお、実際の投影光学系 300 には、20 枚を超える光学素子 310 が使用されるが、ここでは説明を簡略化するため図 1 の投影光学系 300 で一般の投影光学系を代表させる。

【0036】

投影光学系 300 は、例えば、全てレンズ素子の光学素子 310 からなる光学系、複数のレンズ素子の光学素子 310a 乃至 310c と少なくとも一枚の凹面鏡の光学素子 310d とを有する光学系（カタディオプトリック光学系）、複数のレンズ素子の光学素子 310a 乃至 310c と少なくとも一枚のキノフォームなどの回折素子の光学素子 310d とを有する光学系、全てミラーの光学素子 310 からなる光学系等を使用することができる。
20
色収差の補正の必要な場合には、互いに分散値（アッペ値）の異なる光学素子 310 を使用したり、回折素子の光学素子 310d をレンズ素子の光学素子 310a 乃至 310c と逆の分散が生じるように構成したりする。

【0037】

光学素子 310 は、反射、屈折及び回折等を利用して光束を結像させる。光学素子 310 は、エキシマレーザーに使用可能なフッ化カルシウムからなり、複屈折を示す。光学素子 310 は、光軸まわりに回転可能、且つ、光軸方向に移動可能に保持されている。従って、複屈折の影響を小さくするために光軸まわりの角度を調整することができる。

【0038】

プレート 400 は、本実施形態ではウェハであるが、液晶基板その他の被処理体（被露光体）を広く含む。プレート 400 にはフォトレジストが塗布されている。フォトレジスト塗布工程は、前処理と、密着性向上剤塗布工程と、フォトレジスト塗布工程と、プリベーク処理とを含む。前処理は、洗浄、乾燥などを含む。密着性向上剤塗布工程は、フォトレジストと下地との密着性を高めるための表面改質（即ち、界面活性剤塗布による疎水性化）処理であり、HMDS（Hexamethyl-disilazane）などの有機膜をコート又は蒸気処理する。プリベークはベーキング（焼成）工程であるが現像後のそれよりもソフトであり、溶剤を除去する。
30

【0039】

プレートステージ 450 は、プレート 400 を支持する。プレートステージ 450 は、当業界で周知のいかなる構成をも適用することができるので、ここでは詳しい構造及び動作の説明は省略する。例えば、プレートステージ 450 は、リニアモーターを利用して XY 方向にプレート 400 を移動することができる。レチクル 200 とプレート 400 は、例えば、同期走査され、プレートステージ 450 と図示しないレチクルステージの位置は、例えば、レーザー干渉計などにより監視され、両者は一定の速度比率で駆動される。プレートステージ 450 は、例えば、ダンパを介して床等の上に支持されるステージ定盤上に設けられ、レチクルステージ及び投影光学系 300 は、床等に載置されたベースフレーム上にダンパ等を介して支持される図示しない鏡筒定盤上に設けられる。
40

【0040】

偏光方向決定手段 500 は、プレート 400 を露光する露光光（即ち、レーザー 112 から射出される光）が直線偏光となるように、かかる露光光の偏光方向を決定する。換言すれば、偏光方向決定手段 500 は、レーザー 112 から射出されるランダム偏光の露光光
50

を直線偏光の露光光に変換する。

【0041】

偏光方向決定手段500は、本実施形態では、光の振動の一方向の成分のみを通過させる（例えば、振動方向が入射光と法線方向を含む平面内に存在するP偏光又は振動方向が入射光と法線方向を含む平面内に垂直な平面内に存在するS偏光のみを通過させる）性質を有する偏光板で構成されている。但し、偏光方向決定手段500は、偏光板に限定されず、光の振動を一定の方向に制限する機能を有するもので構成することを妨げるものではない。

【0042】

偏光方向決定手段500は、本実施形態では、レチクル200の直前に配置されているが、照明装置100が光の偏光を回転させるような光学系を備えている場合を除き、プレート400までのどの位置に配置してもよい。即ち、プレート400に到達する回路パターンを反映する光（プレート400を露光する光）が直線偏光であればよい。

【0043】

上述したように、光学素子310が示す複屈折により投影光学系300の結像性能が低下する大きな要因は、直交する2つの偏光方向を含む（例えば、P偏光とS偏光）露光光によって、露光に寄与する、異なった2つの波面（絶対値が等しく符号が反対）を形成するためである。従って、偏光方向決定手段500によって、図2に示すように、露光光として入射する光束の偏光方向を一方向に固定した直線偏光に限定することにより、露光に寄与する波面が1つとなり、結像性能の低下を防ぐことができる。なお、光学素子310の示す複屈折があまりに大きいと、直線偏光であっても異常光線と呼ばれる偏光の回転した成分の強度が大きくなるため、光学素子310の複屈折量はできる限り小さく抑えることが好ましい。ここで、図2は、偏光特性による波面収差と結像特性の関係を示す図である。

【0044】

露光において、光源部110から発せられた光束は、照明光学系120によりレチクル200を照明する。このとき、照明光学系120とレチクル200の間に配置された偏光方向決定手段500により光束は直線偏光となっている。レチクル200を通過してマスクパターンを反映する直線偏光の光は、投影光学系300によりプレート400に結像される。露光装置1は、露光光に偏光方向が一定の直線偏光を用いることにより、光学素子310の複屈折の影響を抑えて、良好な解像度を得ることができる。

【0045】

以下、図3を参照して、露光装置1の変形例である露光装置2を説明する。ここで、図3は、露光装置1の変形例である露光装置2の例示的一形態を示す概略構成図である。

【0046】

露光装置2は、露光装置1と同様であるが、図1に示されるように、切り替え手段550と、検出部600と、制御部700と、補正手段800とを更に有する。露光装置2は、通常のランダム偏光の露光光を用いた場合に比べて、直線偏光の偏光方向に垂直なパターンの解像性能は低下し、直線偏光の偏光方向に平行なパターンの解像性能は向上するという特性を積極的に利用して、露光を行う。

【0047】

レチクル200は、本実施形態では、所望の回路パターンを形成方向毎に分離した（例えば、縦方向と横方向）複数のレチクル200a及び200bから構成される。レチクル200a及び200bは、図示しない駆動手段によってレチクルステージに設置され、レチクル200a及び200b毎に露光を行うことで、所望の回路パターンがプレート400に露光される。

【0048】

切り替え手段550は、偏光方向決定手段500が決定する直線偏光を他の直線偏光に切り替える。換言すれば、切り替え手段550は、直線偏光の偏光方向を切り替える。切り替え手段550は、偏光方向決定手段500と共同して、プレート400を露光する露光

10

20

30

40

50

光（即ち、レーザー１１２から射出される光）を直線偏光にすると共に、かかる直線偏光の偏光方向を任意の方向に向けることができる。切り替え手段５５０は、後述する制御部７００に制御され、直線偏光の偏光方向を設定する。

【００４９】

切り替え手段５５０は、本実施形態では、露光光の偏光方向を一方向に固定する偏光板で構成された偏光方向決定手段５００を回転させることが可能な回転機構で構成されている。従って、露光光の偏光方向を偏光板の回転角度によって任意に設定することができる。また、切り替え手段５５０は、ターレット状になっていて、その回転中心の周囲に複数の偏光方向決定手段５００（偏光板）を配置し、任意の偏光方向決定手段５００を選択することで、露光光の偏光方向を切り替えてもよい。

10

【００５０】

検出部６００は、レチクルステージに設置されたレチクル２００に形成された回路パターンの形成方向を検出する。検出部６００は、例えば、レチクル２００に設けられた回路パターンの形成方向を含む情報（バーコード等）を読み取ることで、レチクル２００上の回路パターンの形成方向を検出する。更に、検出部６００は、検出したレチクル２００上の回路パターンの形成方向を制御部７００に送信する。

【００５１】

制御部７００は、検出部６００が検出したレチクル２００上の回路パターンの形成方向に対して平行な直線偏光となるように、切り替え手段５５０を制御する。制御部７００は、本実施形態では、切り替え手段５５０を回転させることにより、偏光方向決定手段５００（偏光板）が決定する偏光方向を変更し、レチクル２００上の回路パターンの形成方向に対して平行な直線偏光とする。従って、制御部７００は、変更方向決定手段５００、切り替え手段５５０及び検出部６００と共同して、露光光の偏光方向を、常に、レチクル２００上の回路パターンの形成方向に対して平行な直線偏光とすることで、解像性能の向上を可能としている。

20

【００５２】

補正手段８００は、投影光学系３００の波面収差を補正する。補正手段８００は、直線偏光の偏光方向を変更することで波面収差が変わるために、かかる波面収差を補正するために設けられている。補正手段８００は、非点収差を補正する第１の補正手段８１０と、傾き成分の収差（即ち、パターンの位置ずれ）を補正する第２の補正手段８２０から構成される。なお、本実施形態では、補正手段８００は、複屈折によって発生しやすい波面収差である非点収差及び傾き成分を補正しているが、その他の波面収差を補正する機能を含めてもよい。また、投影光学系３００の波面収差は、補正手段８００で補正可能な単純な形状に追い込んでおくことが好ましく、傾き成分の波面収差のみに調整しておくことが更に好ましい。これは、波面収差が傾き成分のみであれば、投影光学系３００の光学素子３１０を駆動する必要がなくなるからである。

30

【００５３】

第１の補正手段８１０は、投影光学系３００の非点収差を測定する測定部８１２と、投影光学系３００の光学素子３１０を光軸まわり及び光軸方向に駆動する駆動部８１４とを有する。なお、駆動部８１４は、投影光学系３００の光学素子３１０全てを駆動してもよいし、波面収差に最も関係する光学素子３００のみを駆動してもよい。第１の補正手段８１０は、測定部８１２が測定した非点収差が低減するように、駆動部８１４によって光学素子３１０を駆動して、投影光学系３００の非点収差を補正する。

40

【００５４】

第２の補正手段８２０は、露光光とプレート４００との角度を計測する計測部８２２と、プレート４００を駆動する駆動部８２４とを有する。駆動部８２４は、プレートステージ４５０と接続しており、プレートステージ４５０を介してプレート４００を駆動する。第２の補正手段８２０は、計測部８２２が計測した露光光とプレート４００との角度が垂直となるように、駆動部８２４によってプレートステージ４５０に支持されたプレート４００を駆動して、投影光学系３００の波面収差の傾き成分を補正する。

50

【0055】

ここで、図4を参照して、露光装置2を利用した露光方法1000について説明する。ここで、図4は、本発明の例示的な露光方法1000を説明するためのフローチャートである。本実施形態では、所望の回路パターンが異なる2つの形成方向からなり、回路パターンの形成方向毎にレチクル200a及び200bが用意されている。

【0056】

まず、レチクルステージにレチクル200aが設置されると、検出部600がレチクル200aに形成されたパターンの形成方向を検出する(ステップ1002)。検出したパターンの形成方向は制御部700に送信され、制御部700は、かかるパターンの形成方向に基づいて切り替え手段550(及び偏光方向決定手段500)を制御して、露光光の偏光方向をレチクル200a上のパターンの形成方向に対して平行な直線偏光にする(ステップ1004)。そして、レチクル200a上のパターンの形成方向に対して平行な直線偏光を用いてレチクル200a上のパターンをプレート400に露光する(ステップ1006)。この際、レチクル200a上のパターンの形成方向に対して平行な直線偏光を用いることで発生する複屈折に起因する投影光学系300の波面収差(例えば、非点収差、傾き成分など)を補正手段800によって補正する(ステップ1008)。

【0057】

次に、レチクルステージからレチクル200aを取り外してレチクル200bを設置すると、検出部600がレチクル200bに形成されたパターンの形成方向を検出する(ステップ1010)。検出したパターンの形成方向は制御部700に送信され、制御部700は、かかるパターンの形成方向に基づいて切り替え手段550(及び偏光方向決定手段500)を制御して、露光光の偏光方向をレチクル200b上のパターンの形成方向に対して平行な直線偏光にする(ステップ1012)。そして、所望のパターンが形成されるように、レチクル200b上のパターンの形成方向に対して平行な直線偏光を用いてレチクル200b上のパターンをレチクル200aのパターンが露光されたプレート400に露光する(ステップ1014)。この際、レチクル200b上のパターンの形成方向に対して平行な直線偏光を用いることで発生する複屈折に起因する投影光学系300の波面収差(例えば、非点収差、傾き成分など)を補正手段800によって補正する(ステップ1016)。以上のようなステップを経て所望のパターンがプレート400上に露光される。露光方法1000によれば、所望の回路パターンを形成方向によって分割したレチクル200を用いて、パターンの形成方向に対して常に平行な直線偏光を用いることで解像度を向上させた露光を行うことができる。なお、本実施形態では、2回の露光を行うことで所望のパターンをプレートに露光しているが、所望のパターンの形成方向が2方向以上ある場合は、パターンの形成方向の数だけレチクルを用意して、かかる数だけ露光を行えばよい。

【0058】

以下、図5乃至図7を参照して、別の露光装置3を説明する。図5は、本発明の別の露光装置3の例示的一形態を示す概略構成図である。露光装置3は、露光装置2と同様であるが、図5に示されるように、σ絞リ124の代わりに有効光源形成手段900を有する。

【0059】

有効光源形成手段900は、レチクル200に形成された回路パターンに応じた有効光源を形成する。有効光源形成手段900は、所望の回路パターンを形成方向毎に分離した(例えば、縦方向と横方向)複数のレチクル200a及び200bを用いる場合は、図6に示すような有効光源形成手段910を用い、所望の回路パターンが形成された一枚のレチクル200を用いる場合は、図7に示すような有効光源形成手段920を用いる。なお、有効光源形成手段900は、本実施形態では、アパーチャーとして実現されているが、後述する有効光源を形成することが可能であるならば、プリズムなどを用いてもよい。ここで、図6は、有効光源形成手段910の一例を示す概略平面図である。図7は、有効光源形成手段920の一例を示す概略平面図である。

【0060】

有効光源形成手段 910 は、レチクル 200a 及び 200b の形成方向に対して垂直な方向に有効光源を形成する。有効光源形成手段 910 は、例えば、図 6 に示すように、従来からよく知られている光軸を中心とした二重極状の発光部（開口部）A を有する有効光源分布（即ち、光量分布）を形成し、最適な露光条件を提供する。なお、有効光源形成手段 910 は、本実施形態では、回転可能に配置されており、任意の方向に有効光源を形成することが可能となっている。有効光源形成手段 910 が形成した有効光源と、偏光方向決定手段 500 及び切り替え手段 600 により偏光方向がレチクル 200a 又は 200b 上のパターンの形成方向に対して平行な直線偏光となった露光光とを組み合わせることにより、更に解像度を向上させることができる。なお、有効光源形成手段 910 が形成する有効光源分布は二重極状に限らず、例えば、図 6 に示す発光部 A が片方だけのものや光軸を中心とした四重極状の発光部を有する有効光源分布を形成するものを用いてもよい。

10

【0061】

一方、有効光源形状 920 は、偏光方向決定手段 500 及び切り替え手段 600 により決定した直線偏光の偏光方向（即ち、レチクル 200 上の所望のパターンのうち、ある一方向の形成方向に対して平行な偏光方向）と、かかる直線偏光の偏光方向に対して垂直な方向において、異なる形状の有効光源を形成する。有効光源形成手段 920 は、例えば、図 7 に示すように、光軸を中心とした四重極状の発光部（開口部）B1 乃至 B4 を有し、偏光方向に平行な方向である開口部 B1 及び B4 と開口部 B2 及び B3 の間隔 d1 と偏光方向に垂直な方向である開口部 B1 及び B2 と開口部 B4 及び B3 の間隔 d2 が以下の数式 1 に示す関係を満足する。

20

【0062】

【数 1】

$$d1 > d2$$

30

【0063】

従って、直線偏光の偏光方向と、かかる直線偏光の偏光方向に対して垂直な方向において、異なる有効光源分布（即ち、光量分布）を形成し、最適な露光条件を提供する。即ち、有効光源形成手段 920 が形成した有効光源と、レチクル 200 上の所望のパターンのうち、ある一方向の形成方向に対して平行な偏光方向を有する直線偏光となった露光光とを組み合わせることにより、レチクル 200 上のパターンの形成方向によらず 1 回の露光で均一な解像度を得ることができる。

【0064】

ここで、図 8 を参照して、露光装置 3 を利用した露光方法 2000 について説明する。ここで、図 8 は、所望の回路パターンを形成方向毎に分離した（本実施例では、縦方向と横方向の 2 方向とする）複数のレチクル 200a 及び 200b を用いる場合の露光方法 2000 を説明するためのフローチャートである。

40

【0065】

まず、レチクルステージにレチクル 200a が設置されると、検出部 600 がレチクル 200a に形成されたパターンの形成方向を検出する（ステップ 2002）。検出したパターンの形成方向は制御部 700 に送信され、制御部 700 は、かかるパターンの形成方向に基づいて切り替え手段 550（及び偏光方向決定手段 500）を制御して、露光光の偏光方向をレチクル 200a 上のパターンの形成方向に対して平行な直線偏光にする（ステップ 2004）。また、有効光源形成手段 910 によって、検出したレチクル 200a の形成方向に対して垂直な方向に有効光源を形成する（ステップ 2006）。そして、レチ

50

クル 200 a 上のパターンの形成方向に対して垂直な方向に形成された有効光源、且つ、レチクル 200 a 上のパターンの形成方向に対して平行な直線偏光を用いてレチクル 200 a 上のパターンをプレート 400 に露光する（ステップ 2008）。

【0066】

次に、レチクルステージからレチクル 200 a を取り外してレチクル 200 b を設置すると、検出部 600 がレチクル 200 b に形成されたパターンの形成方向を検出する（ステップ 2010）。検出したパターンの形成方向は制御部 700 に送信され、制御部 700 は、かかるパターンの形成方向に基づいて切り替え手段 550（及び偏光方向決定手段 500）を制御して、露光光の偏光方向をレチクル 200 b 上のパターンの形成方向に対して平行な直線偏光にする（ステップ 2012）。また、有効光源形成手段 910 を回転させて、形成される有効光源を

10

検出したレチクル 200 a の形成方向に対して垂直な方向に変更する（ステップ 2014）。そして、レチクル 200 b 上のパターンの形成方向に対して垂直な方向に形成された有効光源、且つ、レチクル 200 b 上のパターンの形成方向に対して平行な直線偏光を用いてレチクル 200 b 上のパターンをプレート 400 に露光する（ステップ 2016）。以上のようなステップを経て所望のパターンがプレート 400 上に露光される。露光方法 2000 によれば、所望の回路パターンを形成方向によって分割したレチクル 200 a 及び 200 b を用いて、パターンの形成方向に対して常に平行な直線偏光の露光光を用いると共に、有効光源形成手段 910 によってパターンの形成方向に対して垂直な有効光源を形成することで解像度を向上させた露光を行うことができる。

20

【0067】

一方、図 9 を参照して、露光装置 3 において、所望の回路パターンが形成された一枚のレチクル 200 を用いる場合の露光方法 3000 を説明する。ここで、図 9 は、所望の回路パターンが形成された一枚のレチクル 200 を用いる場合の露光方法 3000 を説明するためのフローチャートである。

【0068】

まず、レチクルステージにレチクル 200 が設置されると、検出部 600 がレチクルに形成されたパターンの形成方向を検出する（ステップ 3002）。検出したパターンの形成方向は制御部 700 に送信され、制御部 700 は、切り替え手段 550（及び偏光方向決定手段 500）を制御して、露光光を、かかるパターンの形成方向のうち任意の一方向に平行な直線偏光にする（ステップ 3004）。また、有効光源形成手段 920 によって、直線偏光の偏光方向と直線偏光の偏光方向に対して垂直な方向において、異なる形状の有効光源を形成する（ステップ 3006）。そして、レチクル 200 上のパターンの形成方向のうち任意の位置後方に平行な直線偏光の露光光、且つ、かかる直線偏光の偏光方向と直線偏光の偏光方向に対して垂直な方向において異なる形状の有効光源を用いてレチクル 200 上の所望のパターンをプレート 400 に露光する（ステップ 3008）。露光方法 3000 によれば、パターンの形成方向によらず、均等な解像度を得ることができると共に、1 回で所望のパターンを露光することができる。なお、露光方法 2000 及び 3000 において、上述したように、複屈折に起因する投影光学系 300 の波面収差（例えば、非点収差、傾き成分など）を補正手段 800 によって補正すると更に効果的であることは言うまでもない。

30

40

【0069】

次に、図 10 及び図 11 を参照して、上述の露光装置 1 乃至 3 を利用したデバイスの製造方法の実施例を説明する。図 10 は、デバイス（IC や LSI などの半導体チップ、LCD、CCD 等）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。

【0070】

ステップ 1（回路設計）では、デバイスの回路設計を行う。ステップ 2（マスク製作）では、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。ステップ 3（ウェハ製造）では、シリコンなどの材料を用いてウェハを製造する。ステップ 4（ウェハプロセス）は、前

50

工程と呼ばれ、マスクとウェハを用いてリソグラフィ技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ5（組み立て）は、後工程と呼ばれ、ステップ4によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ6（検査）では、ステップ5で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

【0071】

図11は、ステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ11（酸化）では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ13（電極形成）では、ウェハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）では、ウェハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）では、ウェハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では、露光装置1乃至3によってマスクの回路パターンをウェハに露光する。ステップ17（現像）では、露光したウェハを現像する。ステップ18（エッチング）では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウェハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施形態のデバイス製造方法によれば従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。

【0072】

以上、本発明の好ましい実施例を説明したが、本発明はこれらに限定されずその要旨の範囲内で様々な変形や変更が可能である。例えば、本発明は、複屈折を示す光学素子を使用しない投影光学系においても解像度を向上させることができる。

【0073】

【発明の効果】

本発明の露光装置及び方法によれば、複屈折による結像性能の低下を抑え、焼き付けパターンの方向によらず優れた解像性能を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一側面としての露光装置の例示的一形態を示す概略構成図である。

【図2】偏光特性による波面収差と結像特性の関係を示す図である。

【図3】図1に示す露光装置の変形例である露光装置の例示的一形態を示す概略構成図である。

【図4】本発明の例示的な露光方法を説明するためのフローチャートである。

【図5】本発明の別の露光装置の例示的一形態を示す概略構成図である。

【図6】図5に示す有効光源形成手段の一例を示す概略平面図である。

【図7】図5に示す有効光源形成手段の一例を示す概略平面図である。

【図8】所望の回路パターンを形成方向毎に分離した複数のレチクルを用いる場合の露光方法を説明するためのフローチャートである。

【図9】所望の回路パターンが形成された一枚のレチクルを用いる場合の露光方法を説明するためのフローチャートである。

【図10】デバイス（ICやLSIなどの半導体チップ、LCD、CCD等）の製造を説明するためのフローチャートである。

【図11】図10に示すステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。

【図12】フッ化カルシウム結晶の結晶軸を説明するための図である。

【図13】フッ化カルシウムにおける真性複屈折量の分布を示す図である。

【図14】フッ化カルシウムにおける真性複屈折進相軸の分布を示す図である。

【図15】偏光特性による波面収差と結像特性の関係を示す図である。

【符号の説明】

1乃至3

露光装置

100

照明装置

10

20

30

40

50

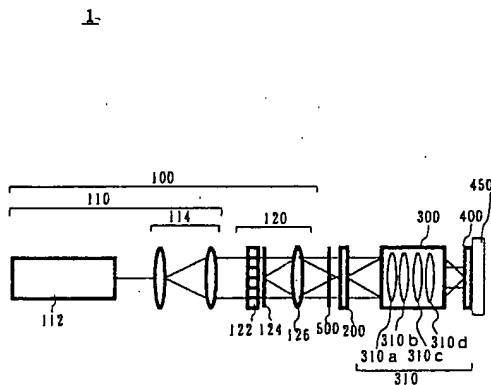
1 1 0
 1 1 2
 1 1 4
 1 2 0
 1 2 2
 1 2 4
 1 2 6
 2 0 0、2 0 0 a、2 0 0 b
 3 0 0
 3 1 0
 4 0 0
 4 5 0
 5 0 0
 5 5 0
 6 0 0
 7 0 0
 8 0 0
 8 1 0
 8 1 2
 8 1 4
 8 2 0
 8 2 2
 8 2 4
 9 0 0、9 1 0、9 2 0

光源部
 レーザー
 ビーム整形系
 照明光学系
 オプティカルインテグレーター
 σ 絞り
 コンデンサーレンズ
 レチクル
 投影光学系
 光学素子
 プレート
 プレートステージ
 偏光方向決定手段
 切り替え手段
 検出部
 制御部
 補正手段
 第 1 の補正手段
 測定部
 駆動部
 第 2 の補正手段
 計測部
 駆動部
 有効光源形成手段

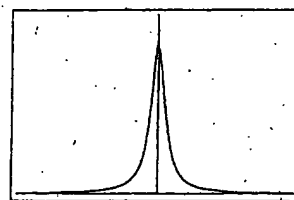
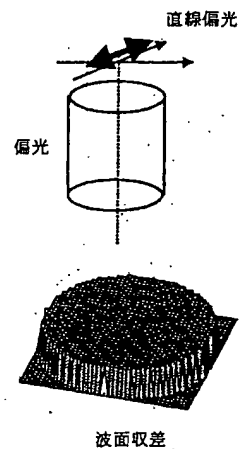
10

20

【図 1】

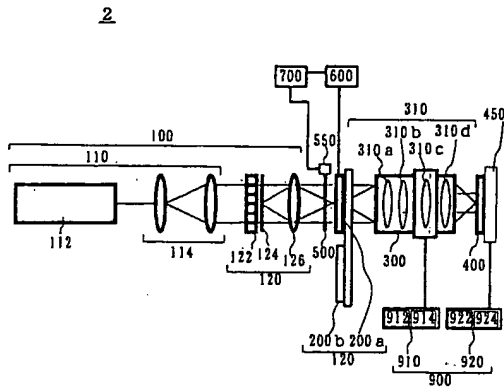


【図 2】

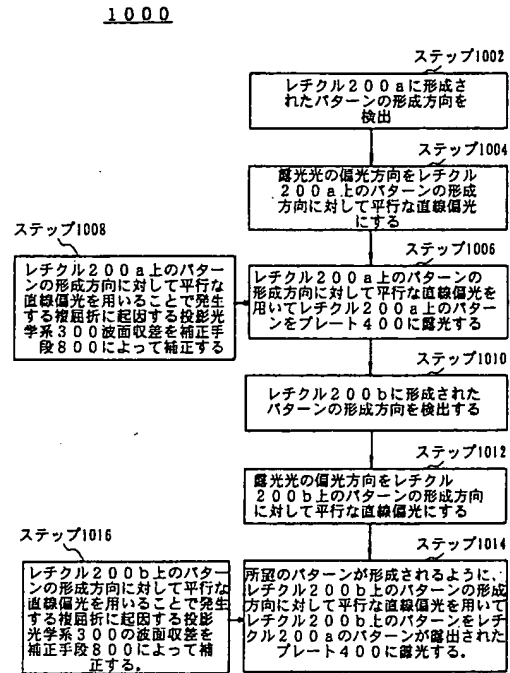


光強度分布

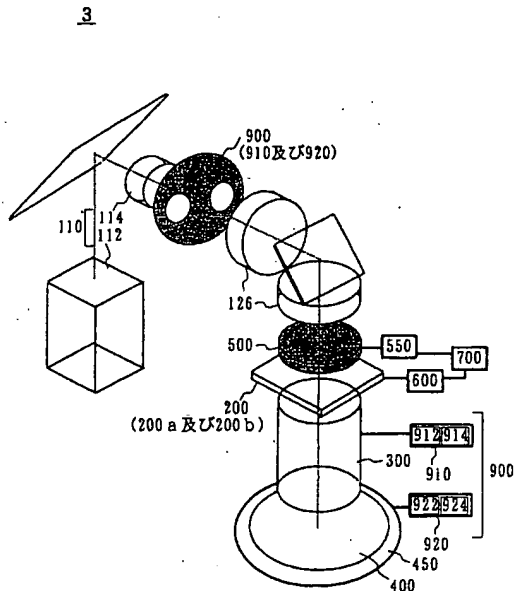
【図 3】



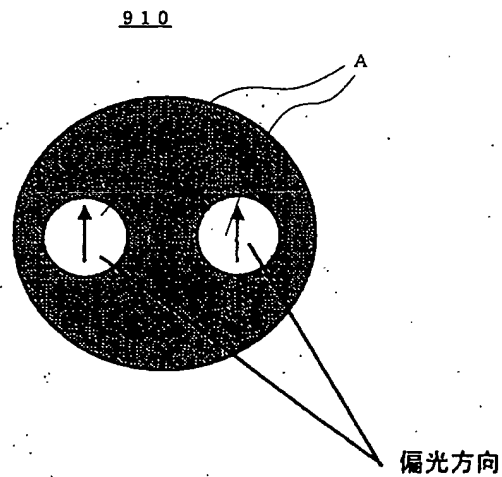
【図 4】



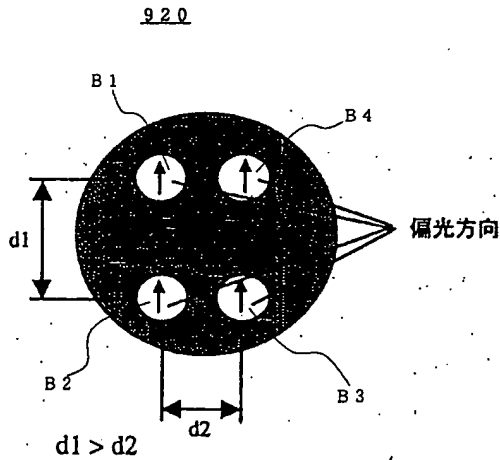
【図 5】



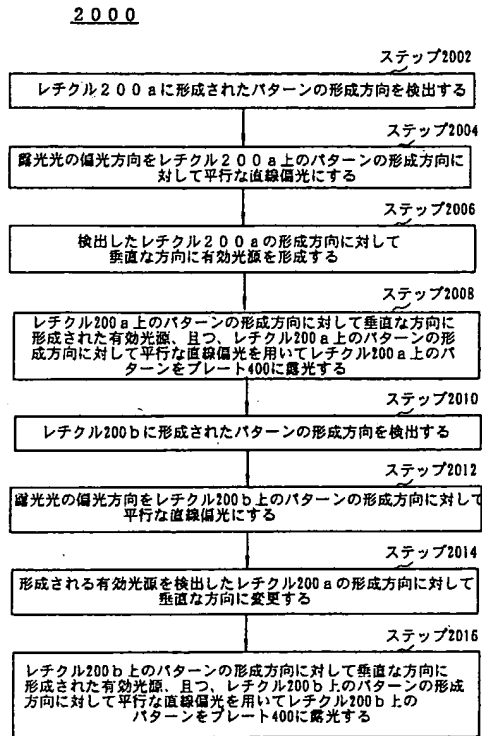
【図 6】



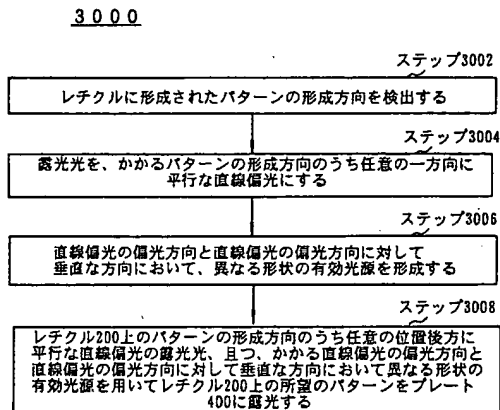
【図 7】



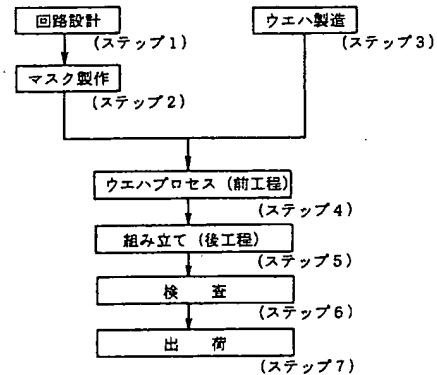
【図 8】



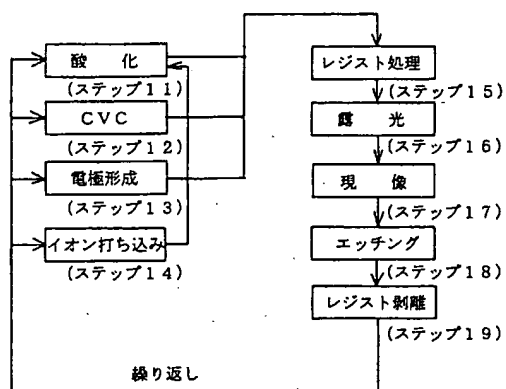
【図 9】



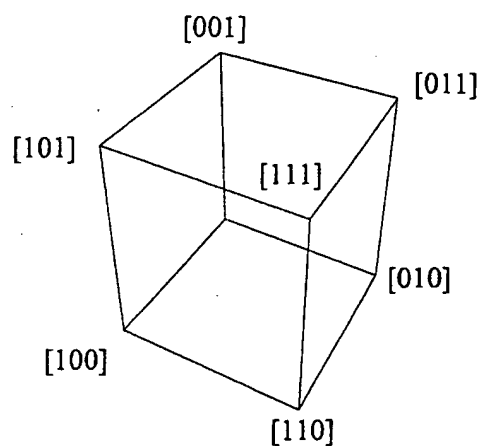
【図 10】



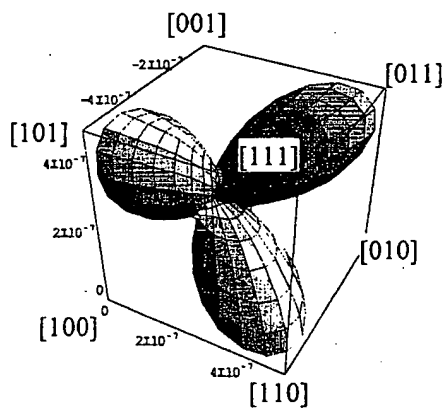
【図 1 1】



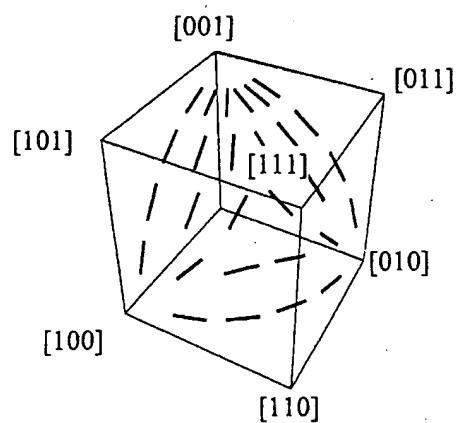
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



【図 15】

